

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ВАГРАНОЧНОЙ ПЛАВКИ С ПРИМЕНЕНИЕМ НИЗКОАКТИВНОГО КОКСА

Быков Р.С., Матюхин В.И., Матюхина А.В., Кошечева О.С.

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

Металлургический кокс – самый распространенный вид топлива шахтных плавильных печей, уровень свойств которого определяют их основные технико-экономические показатели. Для стабильности технологических свойств угольных шихт предложено использование в них коксующей добавки (ДК), позволяющей получить кокс повышенной горячей прочности с реакционной способностью CRI 18–22 % и плотностью куска 1200–1400 кг/м³. По результатам промышленных испытаний на минераловатной вагранке были изучены закономерности изменения ее технологических параметров при работе на экспериментальном коксе с понижением общего расхода кокса на 0,20–0,25 %, повышением общего прихода тепла на процесс в среднем на 90 кВт при увеличении доли тепла расплава, химического недожога и уменьшении затрат тепла на расплавление исходных компонентов в среднем на 2,3 %, общего теплового КПД агрегата на 1,8 % на каждые дополнительные 10 % доли экспериментального кокса.

Ключевые слова: коксующая добавка, металлургический кокс, минераловатная вагранка, технико-экономические показатели.

Metallurgical coke is the most commonly used fuel mine melting furnaces, level of properties which determine the main technical and economic indicators. For stability of technological properties of coal blends proposed use of the coking additives (DK), allowing to receive coke with high hot strength of the reactivity CRI 18–22 % and density piece of 1200–1400 kg/m³. According to the results of industrial tests of mineral wool cupola regularities of changes of its technological parameters of the pilot coke with the lowering of the total consumption of coke by 0,20–0,25 %, a General increase in the arrival of the heat process on average 90 kW increase in a share of heat melt, chemical underburning and reducing the cost of heat melting of the initial components in average by 2,3 %, of the total thermal efficiency of the unit of 1.8 % for every additional 10 % share of the pilot coke.

Keywords: coking additive, metallurgical coke, mineral wool cupola, technical and economic indicators.

Для эффективной работы минераловатной вагранки важно иметь малоактивный кокс, при использовании которого ограничивается развитие процессов восстановления углерода топлива на верхних горизонтах шахты, что способствует повышению температуры в области плавления сырья и снижению расхода кокса.

В связи с этим используемое в шахтных печах кусковое твердое топливо должно обладать минимальным содержанием минерального балласта (шлакообразующие, сера, влага и др. не более 7–12 %) определенной прочностью как в холодном состоянии (показатель M25 не менее 85–86 %, M10 – не выше 7,0–7,5 %), так и при высокой температуре (показатель CSR

не менее 60 мас. %, CRI – не более 30 %), а также оптимальным гранулометрическим составом (не менее 80 % класса 25–40 мм при насыпной плотности 430–480 кг/м³) [1]. Для обеспечения таких показателей качества кокса при его производстве методом коксования следует обеспечить необходимые условия для спекания исходных угольных шихт, которые определяются природой угольных компонентов (выход летучих веществ, спекаемость, коксующесть, степень метаморфизма, содержание витринита, подвижность продуктов разложения, свойство вспучивания и газовойделений при разложении углей), условиями подготовки угольной шихты и процесса коксования [2]. Если существующая технология процесса спекания угольных шихт в процессе коксования остается практически неизменной [3] и ее параметры определяются режимами обогрева коксовой печи, то подбор состава шихты осуществляют с учетом спекаемости и коксующесть отдельных компонентов, их взаимовлияния при коксовании в смесях, показателей технического анализа и изменяющихся технологических свойств. При этом в каждом конкретном случае необходимо учитывать человеческий фактор, зависящий от квалификации обслуживающего персонала.

Стабильность технологических свойств коксующих шихт может быть достигнута на основании использования искусственных углеродсодержащих материалов на основе продуктов пиролиза нефти [4], характеризующихся стабильным химическим составом. В качестве такого компонента угольной шихты была предложена коксующая добавка ДК (ТУ 0258-229-0190437-2008) [5]. Ее получают в установках замедленного коксования при выдержке разогретых до 500 °С тяжелых нефтяных остатков. Характеристика получаемого продукта показана в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Основные свойства коксующейся добавки

Свойство	Уровень значений
Влага аналитическая, W^a , %	0,21
Зольность, A^d , %	0,4
Выход летучих веществ, V^{daf} , %	17,2
Содержание общей серы, S^d , %	4,1
Содержание нелетучего углерода (в образце с зольностью 0,4 %), FC^d , %	80,1
Спекающая способность по Рога, ед.	22
Дилатометрические показатели по Одибер-Арну на сжатие, %	21
Температура начала пластического состояния, °C t_I	325
Температура максимального сжатия, °C t_{II}	470
Температура затвердевания, °C t_3	495
Интервал пластического состояния, °C Δt	120
Показатели максимальной текучести в пластическом состоянии по Гизелеру, дел/мин F_{max}	39

Использование такой добавки в качестве основного компонента угольных шихт для коксования позволяет путем изменения условий спекания углеродистых материалов обеспечить регулирование основных металлургических свойств получаемого кокса (прочность, реакционную способность, состав золы и ее содержание, количество летучих). Индивидуальное коксование ДК в соответствии с [6] обеспечивает получение спеченного продукта крупностью +40 мм с горячей прочностью CSR – 77–79 %, реакционной способностью CRI – 18–22 % и плотностью куска 600–800 кг/м³. Усредненные свойства произведенного металлургического кокса представлены в табл. 2.

Таблица 2

Усредненные показатели экспериментального кокса

Показатель		Нормативные требования по ГОСТ-3340 (КЛ-3)	Экспериментальный кокс
Влага W^t , %		5	4,6
Зольность A^d , %		Не более 11,5	0,5
Выход летучих веществ V^{daf} , %, (не нормируется)		1–1,5	Не более 1,1
Сера S^d , %		Не более 1,4	4,0
Теплота сгорания Q_p^s/Q_p^n , МДж/кг		34,9/28,9	32,4/32,0
Механическая прочность, %, (ГОСТ 8929)	M40	Не менее 77	79,2
Истираемость	M10	Не более 10	7,9
Показатели качества по ГОСТ Р 54250-2010, %	CSR	48–60	Более 75
	CRI	28–35	Менее 24
Гранулометрический состав, %	+80 мм	–	25,7
	–40 мм	5	3,8

Использование ДК при производстве кокса в качестве основного компонента позволяет существенно (на 10–20 %) снизить себестоимость получаемого продукта.

Испытания этого вида топлива проводились на действующей минераловатной вагранке ОАО «Ураласбест» в режиме реального времени при изменении соотношения экспериментального кокса и кемеровского кокса в течение 21–27.01.2013 г. Анализ показателей работы вагранки осуществляли по показаниям существующих КИП. Усредненные результаты исследований приведены в табл. 3.

Эти обобщенные данные показали, что при увеличении доли экспериментального кокса происходит увеличение уровня давления на фурмах практически до его доли 50 % и достигает максимального значения около 81 Па. Такой характер влияния его количества связано в первую очередь со значительно большей плотностью этого вида топлива. Если обычный кокс имеет насыпную плотность 400–600 кг/м³, то для испытуемого кокса эта характеристика составляет 820–880 кг/м³. Такое его состояние обеспечивает более плотную укладку кусковых элементов в шахте с повышением газодинамического сопротивления слоя.

Таблица 3

Усредненные показатели работы минераловатной вагранки при различном соотношении экспериментального (Э) и кемеровского коксов (К)

Соотношение Э/К, %	Давление на фурмах, Па	Температура подогрева воздушного дутья, °С	Температура отходящих газов, °С	Температура расплава, °С	Содержание монооксида углерода в отходящих газах, %
9,52	79,5	623	127	1556	10,47
19,05	76,33	622	121	1547	10,15
28,57	76,87	624	127	1548	10,42
47,61	79,2	628	122	1525	11,1
57,14	80,03	636	115	1539	11,58
57,28	82,56	634	107	1539	12,14
28,57	81,49	630	119	1520	11,82
27	82,95	622	109	1545	10,62
28,16	79,98	625	117	1544	10,87
28,16	81,84	626	124	1521	11,51

Усредненные статистические данные позволяют отметить, что увеличение доли экспериментального кокса сопровождается повышением содержания монооксида углерода в отходящих газах в среднем на 0,28 % на каждые 10 % увеличения доли экспериментального кокса. Это связано, по-видимому, с особенностями слоевого сжигания этого вида топлива. Принимая во внимание его меньшую активность в зоне умеренных температур шахты, его куски опускаются практически без изменения до зоны горения в верхней части холостой колоши. Однако ограниченная скорость горения его углерода приводит к возрастанию высоты коксовой насадки, что сопровождается повышением выхода СО.

Поскольку все ваграночные газы в плавильном комплексе поступают на дожигание в отдельной топке, то при повышении содержания монооксида углерода при изменении условий работы системы дожига и подогрева воздушного дутья наблюдается увеличение уровня подогрева воздушного дутья. Следует также отметить, что это изменения проявляется в наибольшей степени при доле экспериментального кокса выше 30 %.

Однако полученные данные показывают, что при этом наблюдается постоянное снижение уровня перегрева получаемого расплава, минимальное значение которого, равное 1532 °С, наиболее вероятно будет достигнуто при доле экспериментального кокса около 50 %. Такой характер изменения этого показателя можно связать с его пониженной активностью при окислении. При этом происходит постоянный рост высоты холостой колоши с ухудшением условий перегрева расплава.

В тоже время ухудшение условий горения кокса приводит к понижению температуры отходящих газов, улучшая эффективность использования тепла. В наибольшей степени эти изменения будут наблюдаться при доле экспериментального кокса выше 30 %.

Исследования материального баланса ваграночного комплекса при различной доле экспериментального кокса представлены в табл. 4. Анализ этих дан-

Таблица 4
Исследования материального баланса минераловатной вагранки при использовании экспериментального кокса

Соотношение кокс/в.Э/К, %	Расход шихты		Расход кокса		Расход воздуха		Общий расход материалов		Расход расплава		Расход пыли		Расход отходящих газов	
	кг/ч	%	кг/ч	%	кг/ч	%	кг/ч	%	кг/ч	%	кг/ч	%	кг/ч	%
9,52	9411,33	51,8	1148	6,32	7611	41,89	18170,33	100	8093,75	44,54	188,23	1,04	9888,36	54,42
19,05	9671	52,36	1148	6,22	7649,7	41,42	18468,7	100	8317,06	45,03	193,42	1,05	9958,22	53,92
28,57	9781,39	51,61	1148	6,31	7949,7	41,7	18179,09	100	8067,99	44,38	187,63	1,03	9923,47	54,59
47,61	9545,6	52,04	1148	6,26	7649,7	41,7	18343,3	100	8209,22	44,75	190,91	1,04	9921,17	54,21
57,14	9739,25	52,54	1148	6,1	7649,7	41,27	18536,95	100	8375,76	45,18	194,79	1,05	9966,41	53,27
57,28	1088,4	53,53	1126	5,97	7631,64	40,49	18846,04	100	8676,02	46,09	201,72	1,07	9968,25	52,89
28,57	9407,6	51,87	1148	6,33	7581,3	41,8	18136,89	100	8090,53	44,61	188,15	1,04	9858,21	54,35
27	9565,5	52,24	1093	5,97	7649,7	41,79	18305,2	100	8223,75	44,93	191,25	1,04	9890,2	54,03
28,16	9648,78	52,36	1128,44	6,12	7649,7	41,51	18426,92	100	8297,95	45,03	192,98	1,05	9936	53,92
28,16	9445,2	51,81	1137	6,24	7649,7	41,96	18231,9	100	9122,87	44,55	188,91	1,04	9920,12	54,41
28,16	9253,42	52,36	1137,54	6,44	7281,64	41,2	18272,52	100	7957,94	45,06	185,07	1,05	95293,53	53,92
9,52	9411,33	51,8	1148	6,32	7611	41,89	18170,33	100	8093,75	44,54	188,23	1,04	9888,36	54,42

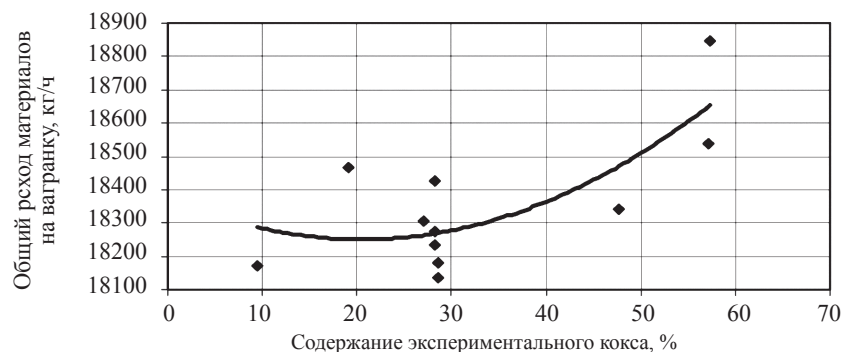


Рис. 1. Изменение общего прихода материалов в вагранку от доли экспериментального кокса

ных, представленных на рис. 1, показывает, что при увеличении доли экспериментального кокса наблюдается постоянное возрастание производительности вагранки в среднем на 75 кг на каждые дополнительные 10 % его количества. Такой характер изменения связан в основном с увеличением доли минеральных компонентов шихты. Результаты исследований материального баланса ваграночной плавки показали, что увеличение доли экспериментального кокса сопровождается возможностью снижения общего расхода кокса в среднем на 0,55 % на каждые дополнительные 10 % его количества и используемого воздушного дутья. Следует также отметить, что установленные изменения проявляются в наибольшей степени при содержании экспериментального кокса выше 30 %.

Отмеченные закономерности изменения массовых потоков сопровождаются небольшим снижением выхода расплава, увеличением выхода газообразных продуктов и снижением выхода годного расплава из твердой части используемых материалов. В наибольшей степени это изменение проявляется при содержании экспериментального кокса выше 30 %.

Изменение вида топлива, отличающегося теплотворной способностью в технологическом агрегате, всегда должно сопровождаться перераспределением в нем тепла. Для анализа особенностей использования экспериментального кокса воспользуемся данными о тепловом балансе ваграночной плавки (табл. 5).

На рис. 2 представлена экспериментальная зависимость изменения общего прихода тепла в вагранку при увеличении доли экспериментального кокса. Ее анализ показал, что при использовании менее активного топлива будет происходить снижение общего прихода тепла в процесс в среднем на 90 кВт на каждые дополнительные 10 % доли экспериментального кокса несмотря на его увеличенную теплотворную способность.

Основные изменения тепловых потоков в рабочем пространстве связаны с перераспределением расходных статей теплового баланса (рис. 3). При этом наблюдается увеличение доли тепла расплава при возрастании его количества, доли химического недожога с возрастанием содержания СО в отходящих газах, а общие потери теплоты с отводимыми газами практически не изменяются.

В то же время наблюдается резкое снижение доли затрат на расплавление минеральной части шихты в среднем на 2,3 % на каждые дополнительные

Таблица 5
Исследования теплового баланса минераловатной вагранки при использовании экспериментального кокса

Соотношение кокс/У/К, %	Тепло горения кокса		Тепло подогрева воздуха		Общий приход тепла		Тепло растопки		Тепло отходящих газов		Тепло хим. недожога		Тепловые потери		Тепло эндотерм. реакций	
	кВт	%	кВт	%	кВт	%	кВт	%	кВт	%	кВт	%	кВт	%	кВт	%
9,52	11165,27	87,21	1638,12	12,79	12809,39	100	3323,54	25,94	480,47	3,75	3651,4	28,52	3197,37	25	2507,31	19,6
19,05	1109,35	83,09	1643,26	12,91	12733,61	100	3396,15	26,67	459,31	3,61	3565,9	28	3183,4	25	2128,25	16,71
28,57	11015,42	86,98	1649	13,02	12664,42	100	3116,41	24,61	481,03	3,8	3646,8	28,8	3166,25	25	2254,08	17,8
47,61	10865,58	86,72	1663,68	13,28	12529,25	100	3306,44	26,39	465,6	3,72	3893,82	31,08	3132,25	25	1731,08	13,82
57,14	10790,65	86,44	1692,34	13,56	12483	100	3400,02	27,24	438,22	3,51	4069,99	32,6	3120,72	25	1454,02	11,65
57,28	10582,79	86,3	1679,44	13,7	12262,24	100	3523,63	28,74	408,06	3,33	4269,27	34,81	3065,56	25	995,72	8,12
28,57	10891,81	86,79	1658,12	13,21	12549,93	100	3244,79	25,85	447,18	3,56	4107,72	32,73	3137,48	25	1612,82	12,85
27	10499,45	86,46	1660,56	13,1	12675,98	100	3351,85	26,44	382,84	3,02	3647,84	28,78	3169	25	2124,47	16,75
28,16	10830,64	86,76	1652,95	13,24	12483,59	100	3381,11	27,08	448,47	3,55	3812,42	30,54	3120,9	25	1725,69	13,82
28,16	10913,76	86,81	1657,95	13,19	12571,71	100	3261,49	25,94	470,61	3,74	4026,72	32,03	3142,93	25	1669,96	13,28
28,16	10918	87,42	1538,83	12,28	12456,94	100	3254,54	26,13	545,08	4,38	3553,83	28,52	3114,23	25	1989,25	15,96
9,52	11165,27	87,21	1638,12	12,79	12809,39	100	3323,54	25,94	480,47	3,75	3651,4	28,52	3197,37	25	2507,31	19,6

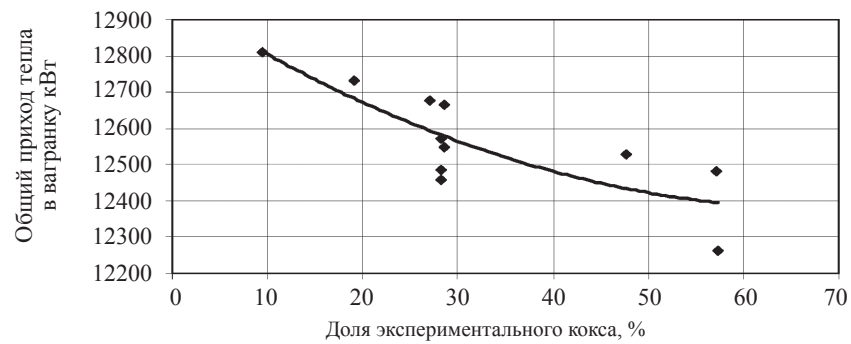


Рис. 2. Изменение величины общего прихода тепла в вагранку от доли экспериментального кокса

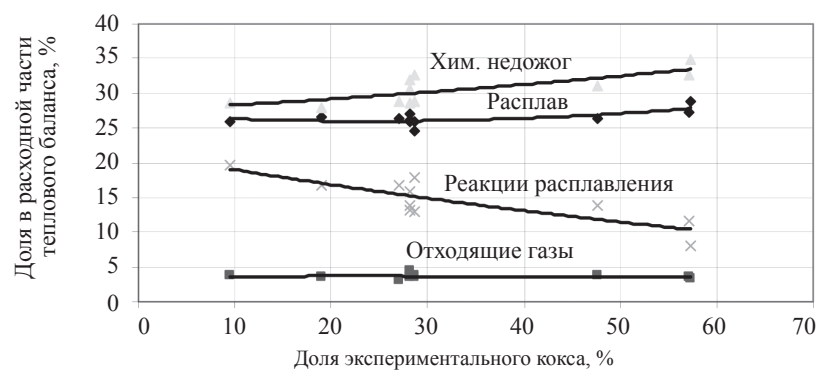


Рис. 3. Закономерности изменения расходных статей теплового баланса от доли используемого экспериментального кокса

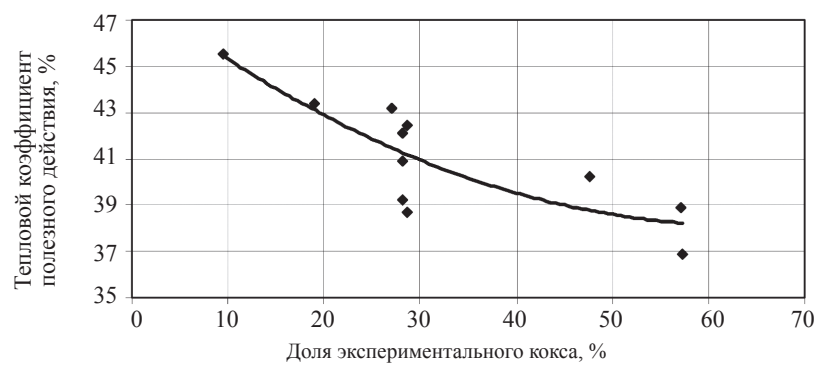


Рис. 4. Особенности изменения теплового КПД вагранки при увеличении доли экспериментального кокса

10 % доли экспериментального кокса, что связано, по-видимому, с изменением химического состава получаемого расплава с перераспределением соотношения кислых и основных его компонентов.

Отмеченные выше особенности изменения статей теплового баланса позволили установить, что увеличение доли экспериментального кокса сопровождается снижением общего теплового КПД агрегата (рис. 4) примерно на 1,8 % на каждые дополнительные 10 % доли экспериментального кокса.

Таким образом, проведенные исследования показали, что применение экспериментального кокса сопровождается:

1) увеличением давления воздушного дутья на фурмах, содержания монооксида углерода в отходящих газах с повышением температуры подогрева воздушного дутья, снижением средней температуры перегрева получаемого расплава до 1532 °С при доле экспериментального кокса около 50 %, а также температуры отходящих газов со 125 °С на Кемеровском коксе до 110 °С при доле экспериментального кокса 60 %;

2) повышением общего количества переплавляемых материалов на 75 кг на каждое дополнительные 10 % его количества, что сопровождается в основном небольшим (0,1–0,15 %/10 %) уменьшением доли расплава, увеличением доли отходящих газов и снижением выхода годного. Наблюдается также снижение общего расхода кокса на 0,2–0,25 % на каждые дополнительные 10 % доли экспериментального кокса;

3) понижением общего расхода тепла на процесс в среднем на 90 кВт на каждые дополнительные 10 % доли экспериментального кокса, что приводит к изменению его использования при увеличении доли тепла расплава, химического недожога и уменьшением затрат тепла на расплавление исходных компонентов в среднем на 2,3 % на каждые дополнительные 10 % доли экспериментального кокса. При этом наблюдается снижение общего теплового КПД агрегата примерно на 1,8 % на каждые дополнительные 10 % доли экспериментального кокса.

Отмеченные изменения наблюдаются в наибольшей степени при использовании экспериментального кокса в количестве не выше 30 % от общего расхода кокса.

Список использованных источников

1. Ярошенко Ю.Г., Гордон Я.М., Ходоровская И.Ю. *Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии черной металлургии*. – Екатеринбург: ООО «УИПЦ», 2012. – 670 с.
2. Ахметов С.А., Ишмяров М.Х., Кауфман А.А. *Технология переработки нефти, газа и твердых горючих ископаемых: учеб. пособие / Под ред. С.А. Ахметова*. – СПб.: Недра, 2009. – 832 с.
3. Сухоруков В.И. *Научные основы совершенствования техники и технологии производства кокса*. М.: Металлургия, 1984. 194 с.
4. Кауфман А.А., Харлампович Г.Д. *Технология коксохимического производства*. – Екатеринбург: ВУХИН, 2005. – 288 с.
5. Глаголева О.Ф., Капустин В.М. и др. *Технология переработки нефти. Ч. 1. Первичная переработка нефти*. – М.: Химия, 2005. – 400 с.
6. Пат. 2355729 РФ, МПК С 10 В 57/04. *Добавка коксующая* / Стуков М.И., Посохов М.Ю., Загайнов В.С. и др.; опубл. 20.05.2009.